

المملكة العربية السعودية
وزارة التعليم العالي
جامعة أم القرى
مركز أبحاث الحج



خواص الهواء في أنفاق مكة المكرمة والمشاعر حج ١٤١٥ هـ

الباحث

عبدالحليم أحمد السواس

حج ١٤١٥ هـ



ملخص الدراسة:

سجل أعلى تركيز للملوثات الهوائية في نفق الملك فهد بمكة المكرمة بينما كان أقل تركيز في نفق أجياد السد للمشاة. ولقد ارتبط تركيز الملوثات الهوائية مع زيادة عدد المركبات وازدياد الحركة المرورية في أنفاق مكة المكرمة والمشاعر المقدسة، كما ارتبط تراكم أول او أكسيد الكربون في أنفاق مكة المكرمة مع درجة الحرارة بحيث كان تراكم ملوثات الهواء في فترة الظهيرة بنقاط مختلفة عن فترة المساء مما يتطلب ضبط نظام التهوية بالأنفاق تبعاً لذلك بحيث يلائم الفترتين.

تم تقويم نظام تهوية في الأنفاق حيث وجد أن نظام تهوية نفق الملك فهد أقل كفاءة من بقية الأنفاق المتضمنة بالدراسة الحالية. ولقد تم تقديم توصيات لتحقيق خفض تركيز الملوثات في أنفاق مكة المكرمة والمشاعر المقدسة في موسم الحج.

أولاً: مقدمة

خلق الله آدم، وأسكنه وذريته الأرض التي تمتلك مقومات الحياة الأساسية؛ عناصر البيئة الرئيسية؛ في توازن محكم، متمثلة بالتربة والماء والهواء.

ترتبط هذه العناصر الثلاثة بعضها ببعض بصورة وثيقة، بحيث إن اختلال توازن عنصر فيها ينعكس على العناصر الباقية. كما أن اختلال عنصر أو أكثر من النظام البيئي، يترتب عليه ظهور مشكلات بيئية جمة تؤثر على طبيعة حياة الإنسان ورفاهيته. ويتسبب الإنسان من خلال أنشطته المختلفة سعيًا للحصول على رزقه واشباع رغباته في الإخلال بهذا التوازن البيئي.

١ - تلوث الهواء:

الهواء من أهم عناصر البيئة الثلاثة، وضروري لحياة الإنسان والحيوان والنبات على السواء. وهو مزيج من غازات حيث يتكون من ٧٨٪ نيتروجين و ٢١٪

أكسجين ويحتوي أيضاً على حوالي ١٪ غازات حاملة من الأرجون والهليوم والكريبتون والنيون. أما كمية ثاني أكسيد الكربون فتصل إلى ٠,٣٣٪ ويحتوي أيضاً على بخار الماء بنسبة ١-٤٪.

يتعرض توازن مكونات الهواء إلى خلل في نسب تواجدتها الطبيعي، فيفسد الهواء، فمثلاً زيادة في أكسيد الكربون نتيجة الاحتراق تعتبر مفسداً للهواء.

كما يتلوث الهواء بدخول مواد غريبة إلى مكوناته الطبيعية، إذ يظهر غاز ثاني أكسيد الكبريت في الأجواء القريبة من مصانع التعدين ومصافي تكرير النفط ومحطات الطاقة. وينتشر غاز النشادر في الأماكن التي تتحلل فيها الفضلات العضوية. وينتج غاز أول أكسيد الكربون من الاحتراق غير الكامل للخشب ولوقود السيارات. كما تنتج أكاسيد النيتروجين عن الاحتراق بشتى أشكاله مثل احتراق وقود السيارات ومحطات توليد الطاقة الكهربائية والجزئيات الصلبة والهيدروكربونات. فاستخدام الفحم الحجري في محطات الطاقة يؤدي إلى تصاعد أكاسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين التي تتفاعل في الجو مع بخار الماء، وتهطل مع الأمطار والثلوج على الأرض الزراعية، وتسمى الأمطار الحامضية. ويسبب هذا النوع من التلوث خلافاً شديداً بين كندا وأمريكا، حيث يحتج سكان مقاطعة إنكلترا الجديدة الأمريكية لما يصيبهم من آثار الأمطار الحامضية المنتشرة من كندا (Smith, 1980).

ومن أهم مصادر تلوث الهواء وسائل النقل والمواصلات بأشكالها المختلفة حيث تمثل ٦٠-٩٠٪ من مجموع ملوثات الهواء. وتعتمد نوعية الملوثات التي تطلقها وسائل النقل في الهواء على نوع الوقود المستخدم، فسيارات الديزل تطلق غاز ثاني أكسيد الكبريت بنسبة قد تصل إلى ١١,٢٪. كذلك تنطلق نسبة من ملوثات الهواء من النشاطات الطبيعية المتمثلة بالبراكين وظاهرة البرق حيث تكون أكاسيد النيتروجين.

لقد شهد العالم كوارث حقيقية بسبب التلوث الهوائي وخاصة بعد الثورة الصناعية، وأسوأ تلك الحوادث ما حدث في مدينة لندن عام ١٩٥٢م من تلوث بيئي نتيجة الضباب الدخاني. وقد ينتج بسبب زيادة تركيز ثاني أكسيد الكبريت والحبيبات العالقة بالهواء (أبو الفتاح، ١٩٨٨م، هانوغ وأبورية، ١٩٩٠م). مما ينتج عنه زيادة محسوسة في معدلات الوفيات بسبب أمراض القلب والجهاز التنفسي. كما زادت معدلات التهاب القصبة الهوائية بنسبة تصل إلى أضعاف المعدل الطبيعي في غياب ظاهرة الضباب الدخاني.

كذلك تعرضت مدينة دونورا بولاية بنسلفانيا الأمريكية خلال شهر نوفمبر ١٩٤٨م لظاهرة الضباب الدخاني نتيجة زيادة المجمعات الصناعية بها كصناعة الصلب وحامض الكبريتيك وتعددين الزنك، وخلال أربعة أيام توفي عشرون شخصاً. كما زاد أكسيد الكربون في وادي ستناكلارا (Senany, 1981) الأمريكي نتيجة بناء المصانع وزيادة عدد المركبات.

وشهد العالم حديثاً أوسع تلوث بيئي متعمد في تاريخ البشرية، حريق آبار البترول بدولة الكويت. فقد تم إشعال ٩١٣ حقلاً للبترول في مناطق برقان ومقوى الأحمد، حيث بلغت كمية البترول الخام المشتعلة ٦ ملايين برميل يومياً. وانتشر الدخان المحتوي على ملوثات الهواء إلى ارتفاعات تراوحت من ١٠٠٠ إلى ٢٢٠٠٠ ألف قدم (Sheikh, 1992). وكان من أهم هذه الملوثات ثاني أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت وأكاسيد النيتروجين وأول أكسيد الكربون وكبريت الهيدروجين والمركبات الحلقية الهيدروكربونية (Sheikh, 1992). وبلغ تركيزها في مدينة الكويت ١٠٥، ١٢٧ و ٩،١ جزءاً بالمليون لغازات ثاني أكسيد الكبريت وأول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين على التوالي (Luke et al, 1992).

انتشرت هذه الملوثات عبر الهواء إلى أنحاء العالم المختلفة القريبة والبعيدة على السواء، حيث وجدت علاقة محسوسة بين حريق آبار الكويت وزيادة تركيز الملوثات الهوائية في جزر هاواي الأمريكية أقصى الغرب (Lowenthal, 1992)، وهكذا تأثر الإنسان والحيوان والنبات في العديد من مناطق العالم بهذه الجريمة البيئية.

وبصورة عامة، يرتفع معدل أول أكسيد الكربون في المدن الصناعية الأوربية والأمريكية بسبب حركة النقل والمرور داخل المدن، إذ كلما ازدحمت الحركة واكتظت الشوارع بالسيارات؛ مما يجعلها تسير ببطء؛ تزداد معدلات أول أكسيد الكربون، الذي يتحد مع هيموجلوبين الدم بدلاً من الأوكسيجين ويؤدي إلى أعراض الصداع والغثان والاختناق. وفي الحالات المزمنة، يزداد طلب الأنسجة للأوكسيجين بسبب تراكم أول أكسيد الكربون الجزئي في هيموجلوبين الدم، مما يتسبب في زيادة ضربات القلب وارتفاع معدل الإصابة بأمراض القلب.

٢ - التلوث الهوائي بالمملكة العربية السعودية:

قامت بالمملكة العربية السعودية نهضة حضارية على مختلف الأصعدة متضمنة تطوراً زراعياً وصحياً وتطوير مناجم المعادن والخامات وإقامة صرح صناعي هائل في منطقتي الجبيل وينبع حيث كانتا في السابق أرضاً ريفية لا تعرف مفسدات وملوثات الهواء. ولم تقتصر النهضة الحضارية على الجبيل وينبع بل شملت معظم مدن المملكة كالرياض والدمام وجدة على وجه الخصوص، حيث بنيت مجمعات صناعية متطورة وتصاحب هذا مع زيادة في مصادر التلوث البيئي وبشكل خاص للهواء.

لقد أظهرت الدراسات البيئية أن أهم مصادر التلوث بمنطقة الرياض هي وسائل النقل ومحطات الطاقة الكهربائية ومصافي البترول ومصانع الأسمت، حيث سجلت مستويات أعلى من الحد المسموح به من الهيدروكربونات وأول أكسيد الكربون وأكاسيد النيتروجين ومركبات الرصاص (Rowe et al 1988, Mutaz, 1988). فبلغ

تركيز أول أكسيد الكربون في أحد شوارع الرياض الرئيسية عكس اتجاه سير المركبات ١٠٠ جزءاً بالمليون، بينما تراوح تركيزه في الشوارع الفرعية من ١٨-٥٦ جزءاً بالمليون (Koushki, et al, 1978). وفي حالات التعرض لمدة ساعة وثمانية ساعات، فإن مستوى تركيز أول أكسيد الكربون زاد عن المعدل المسموح به بالملكة العربية السعودية. مما أدى إلى زيادة مستوى هذا الغاز داخل السيارات وتعرض الإنسان له أثناء القيادة والتنقل بالسيارات. ولقد وصلت نسبته داخل السيارات بالنسبة لتركيزه بالوسط المحيط الخارجي ٠,٨٤. واستمرت زيادة التركيز بقيمة ثابتة داخل المركبة رغم تشغيل جهاز التدفئة أو المكيف. ولقد وجد أن تأثير حجم السيارات بالداخل والعوامل البيئية المحيطة قليل على متوسط زيادة نسبة غاز أول أكسيد الكربون داخل المركبة (Dhowalia & Koushki, 1987)، كما وجد تركيز محسوس من الجزيئات العالقة في الهواء وغاز ثاني أكسيد الكبريت وكبريت الهيدروجين وخاصة بالقرب من المناطق الصناعية (ERT, 1977). وزاد في جدة التلوث الهوائي مع التوسع العمراني والتطور الصناعي، مما خلق مشكلة هامة، فانخفض معدل الرؤية الأفقية وخاصة في ساعات الصباح الباكر. ومن أهم مصادر التلوث بجدة وسائل المواصلات ومحطة توليد الطاقة الكهربائية ومحطة تحلية مياه البحر ومصفاة تكرير البترول (Bradstreet et al 1978). وقد بلغ معدل تركيز غاز ثاني أكسيد الكبريت خلال سنوات ١٩٨٤، ١٩٨٥، ١٩٨٦، ١٩٨٧ في جدة ٠,٣٥، ٠,٣٩، ٠,٣٥، ٠,٣٥، ٠,٣٥. كذلك سجلت ٠,٨٨ ميكروليتر بالليتر من الهواء الجوي (Sabbak, 1993). كذلك سجلت تركيزات عالية من ثاني أكسيد الكبريت والجزيئات العالقة في الهواء بمنطقة ينبع الصناعية وعلى بعد دائرة قطرها ١٠ كم (ERT, 1977). ولقد تأثرت النباتات المزروعة بزيادة غاز ثاني أكسيد الكبريت في منطقة الحساء، بينما كان التركيز غير مؤثر بشكل محسوس في منطقة الهفوف (Bell, 1977).

٣ - تلوث الهواء بمكة المكرمة والمشاعر المقدسة:

تتميز منطقة مكة المكرمة بطبيعة جغرافية مميزة، حيث الجبال الصخرية الصماء محيطة بشعابها وأوديتها من كل جانب، وتتغير درجة الحرارة في الليل والنهار بفارق بسيط، مما يجعل حركة الرياح في حدودها الدنيا. كما أن أمطارها موسمية وشحيحة ويندر فيها الثلج والبرد. وتؤثر الرياح والأمطار والثلوج والبرد إيجابياً وكوسائل فيزيائية في تخفيف وانتشار وترسيب الملوثات الهوائية ومن ثم تنقية الهواء الجوي من الملوثات والجزيئات العالقة به. لذلك فإن انخفاض التهوية وقلة الأمطار في بيئة يؤدي إلى تراكم الملوثات الهوائية، ومكة المكرمة عرضة لتراكم هذه الملوثات. وقد قامت حكومة خادم الحرمين الشريفين بتطوير مكة المكرمة والمشاعر، فشقت الأنفاق الأرضية وتحت الأرضية. كما أنشئت الطرق السريعة لاستيعاب وتسهيل الحركة المرورية من وإلى الأماكن المقدسة في مناطق المشاعر المقدسة.

لقد أنشئ نفق الملك فهد (السوق الصغير) كتجربة فريدة من نوعها بمكة المكرمة لكونه نفقاً تحت أرضي. وأنفاق أخرى أرضية متعددة مثل نفق أجياد السد للسيارات والمشاة ونفق الملك خالد وأنفاق الطريق الدائري الثاني وأخرى لا يتسع المجال لذكرها. لقد بذل جهد هندسي تقني لتنفيذ هذه الأنفاق بكفاءة عالية ومواصفات مميزة (Vedat, 1982, Mannavalan, 1982, 1986). مما جعل انسياب الحركة إلى الحرم المكي الشريف تتم بيسر وسهولة لقاصدي البيت العتيق.

٤ - أهمية دراسة التلوث بمكة المكرمة والمشاعر المقدسة:

تبعاً للطبيعة الجغرافية المميزة بمكة المكرمة، فمن الضروري أن تتم دراسة مقارنة للأنفاق الأرضية وتحت الأرضية لتقويم خصائصها ووسائل الامن والسلامة فيها. كما أن الكم الهائل من وسائل النقل؛ المختلفة الأنواع حجماً ونظماً من حيث الوقود المستخدم؛ والمتجهة إلى المشاعر المقدسة (عرفات ومزدلفة ومنى)، واجتماع أعداد من

الحجيج من مختلف بقاع العالم الاسلامي في فترة زمنية محدودة تتغير فيها العوامل الجغرافية حسب الفصول المتتابعة بشكل تدريجي عاماً بعد عام أمر متميز يستحق الدراسة والتحليل لتحقيق الأمن والسلامة الصحية للمقيمين والزائرين على السواء.

ثانياً: طريقة العمل

تم استخدام تقنيتين لقياس تراكيز ملوثات الهواء:

١ - أجهزة مزودة بكاشفات الإلكتروليتية:

تم استخدام وحدة قياس جهاز CP 4000 المصنع بشركة Dactwell البريطانية والمجهز بأربع كاشفات للغازات وهي أول أو أكسيد الكربون وثاني أو أكسيد النيتروجين وثاني أو أكسيد الكبريت والأوكسيجين والمعايرة بتركيزات نظامية بهدف الوصول إلى قياس دقيق لتراكيز الغازات الملوثة للهواء، وتسجل القراءات لتراكيز الملوثات الهوائية آلياً في صورة قيم حسابية كجزء بالمليون لغازات أول أو أكسيد الكربون وثاني أو أكسيد الكبريت وثاني أو أكسيد النيتروجين ونسبة مئوية في حالة الأوكسيجين.

٢ - الطرق اللونية:

تم استخدام تقنية شركة لاموت الأمريكية لتعيين تركيز الرصاص والامونيا والفورمالدهيد في الهواء الجوي، بحيث يتم إمرار حجم مقداره ١ لتر من الهواء بالدقيقة خلال محلول امتصاص كيميائي خاص بكل ملوث هوائي ولمدة زمنية قدرها ٢٠ دقيقة، و ١٠ دقائق و ٣٠ دقيقة على التوالي. بعدها يتم تعيين تراكيز الملوثات باستخدام كواشف لونية خاصة بكل غاز وباستخدام تراكيز لونية نظامية للمقارنة في وحدة القياس اللونية لكل ملوث (انظر شكل)، وتضبط النتائج كي تصبح قيم بصورة جزء بالمليون.

٣ - خطة البحث:

أ - أماكن القياس:

١ - نفق الملك فهد:

تم تحديد عشر نقاط لقياس الغازات بتقنية الكاشفات الالكتروكيميائية داخل وخارج النفق في كلا الاتجاهين، بحيث يتم مقارنة تراكم الغازات داخل النفق بالنسبة للمحيط الخارجي له. وقد تم اختيار أربعة نقاط داخل نفق الملك فهد وهي على التوالي: المدخل وباب الملك عبدالعزيز وباب الملك فهد والمخرج بحيث تم قياس تراكيز الغازات ذهاباً وإياباً في اتجاه سير المركبات في كلا الاتجاهين.

أما خارج نفق الملك فهد، فقد تم اختيار نقطة قصر الصفا، ونقطة الحفائر لتعيين خواص الهواء في البيئة خارج النفق. كذلك تم تعيين تراكيز الرصاص والامونيا والفورمالدهيد في وسط نفق الملك فهد (باب الملك عبدالعزيز) وفي نقطة طلعة الحفائر.

٢ - نفق أجياد السد للسيارات (محبس الجن):

تم قياس تراكيز الملوثات الهوائية في نفق أجياد السد للسيارات في نقاط داخل وخارج النفق، وذلك باختيار نقطتين خارج النفق وهي ساحة المدخل وساحة المخرج في اتجاه سير المركبات من الحرم إلى محبس الجن. أما داخل النفق، فقد تم اختيار مدخل النفق ووسطه ومخرجه لتعيين تراكيز الغازات بجهاز CP 4000.

كما تم تعيين تراكيز الرصاص والامونيا والفورمالدهيد في نقطة وسط النفق وفي ساحة محبس الجن باستخدام الطريقة اللونية لجهاز لاموت.

٣ - نفق أجساد السد للمشاة:

تم قياس تراكيز الغازات في نفق أجساد السد للمشاة باختيار خمس نقاط، ثلاثة منها داخل النفق وهي: مدخل ووسط ومخرج، النفق، ونقطتين خارج النفق وهما ساحة محبس الجن وساحة مسجد البيعة.

٤ - نفق الملك خالد للسيارات بالعزيرية:

تم قياس تراكيز الملوثات الهوائية في نفق الملك خالد باستخدام تقنية الكاشفات الاللكتروكيميائية CP 4000 في خمس نقاط منها نقطتان خارج النفق، هما ساحة باب قصر منى عند المدخل ونقطة منى خارج نفق الملك خالد. أما النقاط الثلاث فكانت عند المدخل ووسط ومخرج النفق على التوالي.

٥ - قياس تراكيز الملوثات الهوائية في عرفات ومزدلفة:

تم قياس تراكيز الملوثات الهوائية في يوم عرفات في فترات زمنية مختلفة من يوم عرفات كما هو موضح بالجدول رقم () باستخدام تقنية الكاشفات الالكتروكيميائية CP 4000. ولقد تم قياس تراكيز الغازات في مزدلفة في فترات زمنية متعددة مساء يوم التاسع من ذي الحجة ١٤١٧هـ. الجدول رقم ()

٦ - قياس تراكيز الملوثات الهوائية في منى أيام التشريق:

تم قياس الملوثات الهوائية في نقطتين من منى أيام التشريق وهما جسر الملك عبدالعزيز ووادي الجمرات في فترات زمنية مختلفة حسب الجدول رقم ().

ب - طريقة القياس:

تم تسجيل عشر قراءات في كل موقع باستخدام جهاز كاشفات الالكتروكيميائية Cp 4000 ومن ثم تم حساب المتوسط لهذه القراءات وحساب معدل

الخطأ الاحصائي. كما تم تسجيل قياس واحد في كل فترة زمنية لتراكيز الرصاص والامونيا والفورمالدهيد باستخدام التقنية اللونية لشركة لاموت.

كذلك تم تسجيل القياسات في فترات زمنية مختلفة ظهراً ومساءً (الساعة ١٢ ظهراً والعاشر مساءً على التوالي) لدراسة تأثير العوامل البيئية في تخفيف الملوثات البيئية ومنع تراكمها.

ثالثاً: النتائج

١ - تركيز ملوثات الهواء في نفق الملك فهد:

أ - تركيز ملوثات الهواء في فترة الظهيرة:

بلغ أعلى مستوى لغاز أول أكسيد الكربون في موقع باب الملك فهد حيث بلغ ٦٠,٤٤ جزءاً بالمليون في اتجاه الذهاب و ٦٩,٥٦ في اتجاه الإياب. كما بلغ تركيز أول أكسيد الكربون عند باب الملك عبد العزيز ٥٥,٤١ و ٥٤,١٦ في الذهاب والإياب على التوالي.

أما تركيز أول أكسيد الكربون عند مدخل النفق، فكان أقل من المخرج حيث بلغ ٣٣,٦٩ و ٣٩,١ على التوالي. كما وجد تركيز أول أكسيد الكربون في مخرج النفق. بمرحلة الإياب أعلى من داخل النفق، مما قد يشير إلى أن اتجاه الرياح من قصر الصفا يعوق خروج الملوثات من جهتها ومما يعزز هذا أن تراكيز الملوثات في طلعة الحفاير أعلى من نقطة قصر الصفا ويفسر هذا بخروج الملوثات من داخل النفق باتجاه طلعة الحفاير ظهراً.

وكانت الصورة مماثلة مع غاز ثاني أكسيد الكبريت، حيث بلغ أعلى تركيز له عند باب الملك فهد ١,٠٧ و ٠,٦٧ جزءاً بالمليون في مرحلتي الذهاب والإياب على التوالي، بينما بلغ تركيزه عند باب الملك عبد العزيز ٠,٥٦ و ٠,٥١ في مرحلتي

الذهاب والإياب على التوالي أما تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين، فكان تركيزه غير محسوس في جميع أيام القياس لشهر ذي الحجة. كما كانت نسبة غاز الأوكسيجين في المعدل الطبيعي في جميع نقاط القياس، حيث بلغت ٢١٪. (انظر الجدول رقم - ١)

جدول رقم - ١

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق الملك فهد لفترة الظهيرة

من ١٢/٢ الى ١٢/١٣/١٤١٥هـ

الموقع	CO ₂	SO ₂	NO ₂	O ₂
مدخل النفق	١٢,٦٨ ± ٣٣,٦٩	٠,٧٢ ± ٠,٨٩	٠,٠٢ ± ٠,٠٢١	٠,٠١ ± ٢١
باب الملك عبدالعزيز	٨,٧٩ ± ٥٥,٤١	٠,١٨ ± ٠,٥٦	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
باب الملك فهد	١٠,٥٧ ± ٦٠,٤٤	٠,٢٦ ± ٠,٦٧	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
المخرج	٣,٩٢ ± ٣٩,١	٠,١٨ ± ٠,٥٣	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
طلعة الحفائر	١٥,١١ ± ٣٣,٦	٠,١٨ ± ٠,٤	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
مدخل العودة	٤,٢٥ ± ٢٣,١٨	٠,١٦ ± ٠,٤٥	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
باب الملك فهد (العودة)	٦,٧٢ ± ٦٩,٥٦	٠,٢٥ ± ١,٠٧	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
باب الملك عبدالعزيز (العودة)	٧,٣٧ ± ٥٤,١٦	٠,٢ ± ٠,٩	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
مخرج العودة	٨,١٥ ± ٥٩,٣٣	٠,٢٦ ± ١,٠٥	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
قصر الصفا	٤,٣٦ ± ٢٠,٢	٠,٢ ± ٠,٩	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١

وقد بلغ تركيز أول أكسيد الكربون قيمة عظمى يوم ١٢/١٣/١٤١٥هـ، حيث بلغ معدل تركيزه ١٧,٦٨. ولم تظهر النتائج زيادة متصاعدة مع أيام الحج، فكانت متغيرة من يوم لآخر.

وعموماً، كانت زيادة محسوسة في أيام ٤ و ٥ و ٨ من شهر ذي الحجة وأعلى من بقية أيام ذي الحجة باستثناء يوم نفرة التعجل ١٢/١٣/١٤١٥هـ.

أما غاز ثاني أكسيد الكبريت، فقد بلغ أعلى مستوى له يوم ١٢/٤/١٤١٥هـ، حيث بلغ ٢,٢١ جزءاً بالمليون. كما بلغ ١,٣٢ و ١,٢٥ يومي ١٢/٢/١٤١٥هـ

و ١٤١٥/١٢/٥هـ، على التوالي وتراوح في بقية الأيام بين ٠,٢١ إلى ٠,٦٩ جزءاً بالمليون.

وكان تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين غير محسوس في جميع أيام القياس من شهر ذي الحجة بينما حافظ الأوكسيجين على نسبة طبيعة ثابتة وهي ٢١٪.

كذلك تم قياس الأمونيا والرصاص في وسط نفق الملك فهد خلال الفترة من ١٤١٥/١٢/٦هـ، إلى ١٤١٥/١٢/١١هـ حيث تراوح كلاهما بنسبة وسطية من ١٠ - ١,٢٥ جزءاً بالمليون على التوالي. (انظر الجدول رقم - ٢)

جدول رقم - ٢

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق الملك فهد للعشرة مواقع في فترة الظهيرة

الموقع	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
١٤١٥/١١/١٦هـ	٣٣,٩ ± ١٠,٧١	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١هـ	٢٢,٣٨ ± ٤,٨٣	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٢هـ	٣٩,٤١ ± ٨,٥٨	١,٣٢ ± ٠,١٥	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٣هـ	٢٨,٧٢ ± ٥,١٩	٠,٧١ ± ٠,١١	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٤هـ	٥١,٢٨ ± ١٣,٣٤	٢٠,٢١ ± ١,٥٩	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٥هـ	٦٨,٤٢ ± ١٥,٤٢	١,٢٥ ± ٠,١٧	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٦هـ	٣١,٥٨ ± ٤,٥١	٠,١٨ ± ٠,٠٦	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٨هـ	٥٩,٠٦ ± ٧,٥٦	٠,١٨ ± ٠,٠٦	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١١هـ	٤٣,٥٢ ± ٦,١٣	٠,٦٩ ± ٠,١٣	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١٣هـ	٧١,٦٨ ± ١٠,٦٥	٠,٢١ ± ٠,١١	٠,٢١ ± ٠,٢١	٢١ ± ٠,٠

ب - تركيز الملوثات الهوائية في نفق الملك فهد في الفترة المسائية:

بلغ أعلى تركيز لغاز أول أكسيد الكربون في مرحلة الذهاب (من قصر الصفا إلى طلعة الحفاير) عند باب الملك فهد ٧١,٧ جزءاً بالمليون.

أما عند باب الملك عبد العزيز، فلقد بلغ تركيز أول أكسيد الكربون ٦١,٦ جزءاً بالمليون. وكان تركيز أول أكسيد الكربون في مدخل النفق ومخرجه متساوياً تقريباً، مما يشير إلى تراكم في تركيز أول أكسيد الكربون، حيث بلغ ٥٨,٤ و ٥٨,٧ جزءاً بالمليون على التوالي. أما في طلعة الحفاير، فقد بلغ ١٧,٣ جزءاً بالمليون وقد يفسر بأن اتجاه الرياح كان أقوى من شفط مراوح تهوية النفق. كذلك في مرحلة الإياب، زاد تركيز أول أكسيد الكربون عند باب الملك عبد العزيز عن تركيز أول أكسيد الكربون عند باب الملك فهد حيث بلغ ٨٥,٣ و ٨١,٦ جزءاً بالمليون على التوالي. كما كان تركيز أول أكسيد الكربون عالياً عند المخرج بالمقارنة مع المدخل بما يزيد على أربعة أضعاف حيث بلغ تركيز أول أكسيد الكربون ٢١,٥ و ٨٥,٥ جزءاً بالمليون على التوالي. مما يشير إلى أن شدة تيار الهواء من اتجاه طلعة الحفاير باتجاه قصر الصفا، إلا أن تصريف أول أكسيد الكربون، لم يتم بكفاءة في اتجاه قصر الصفا، فلقد تراكم عند المخرج وبلغ تركيزه ٨٥,٥ جزءاً بالمليون بينما كان التركيز أقل في ساحة قصر الصفا خارج النفق حيث بلغ ٢١,٩.

كذلك كانت نتائج قياس تركيز ثاني أكسيد الكبريت مشابهة لنتائج أول أكسيد الكربون من حيث تراكم تركيزه في وسط النفق حيث بلغ تركيزه عند باب الملك عبد العزيز ٠,٥٨ و ١,٠٥ جزءاً بالمليون في مرحلة الذهاب والإياب على التوالي وعند باب الملك فهد ٠,٨٤ و ١,٠٩ في مرحلة الذهاب والإياب على التوالي.

كما كان تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين أعلى عند مدخل النفق من اتجاه قصر الصفا عن طلعة الحفاير حيث بلغ ٠,٢٧ و ٠,١٩ على التوالي.

وزاد تركيز ثاني أكسيد النيتروجين عند باب الملك فهد في مرحلة الإياب عن تركيزه في مرحلة الذهاب حيث بلغ ٠,٢٧ و ٠,٢ جزءاً بالمليون على التوالي، بينما نقص تركيزه بمرحلة الإياب عن الذهاب عند باب الملك عبد العزيز فبلغ ٠,١٣ و ٠,٢١ جزءاً بالمليون على التوالي وحافظ غاز الأوكسيجين على نسبة طبيعيه ثابتة في جميع أماكن القياس بنفق الملك فهد وهي ٢١٪. (انظر الجدول رقم - ٣)

جدول رقم - ٣

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق الملك فهد لفترة المساء من

١٢/٢ إلى ١٢/١٣/١٤١٥هـ

الموقع	CO ₂	SO ₂	NO ₂	O ₂
مدخل النفق	٢١,٨ ± ٥٨,٤	٠,٠٥ ± ٠,٠٥	٠,١٧ ± ٠,٢٧	٠,٠ ± ٢١
باب الملك عبدالعزيز	١٢,٠٠ ± ٦١,٦	٠,٠١٦ ± ٠,٥٨	٠,١٥ ± ٠,٢١	٠,٠ ± ٢١
باب الملك فهد	٤,٩ ± ٧١,٧	٠,١٢ ± ٠,٨٤	٠,١ ± ٠,٢٠	٠,٠ ± ٢١
المخرج	١٢,٨ ± ٥٨,٧	٠,١٦ ± ٠,٧٧	٠,٠٥ ± ٠,٠٨	٠,٠ ± ٢١
طلعة الحفاير	٤,٤ ± ١٧,٣	٠,٠٨ ± ٠,١٣	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
مدخل العودة	٥,٥ ± ٢١,٠	٠,١٥ ± ٠,٣	٠,٠٥ ± ٠,١٥	٠,٠ ± ٢١
باب الملك فهد (العودة)	١٢,٢ ± ٨١,٦	٠,١٥ ± ١,٠٩	٠,١٢ ± ٠,٢٧	٠,٠ ± ٢١
باب الملك عبدالعزيز (العودة)	١٩,٨ ± ٨٥,٣	٠,١٤ ± ١,٠٥	٠,١ ± ٠,١٣	٠,٠ ± ٢١
مخرج العودة	١١,٥ ± ٨٥,٥	٠,١٥ ± ١,١٧	٠,١٢ ± ٠,١٩	٠,٠ ± ٢١
قصر الصفا	٦,٠ ± ٢١,٩	٠,١٢ ± ٠,٢٤	٠,٠١ ± ٠,٠١	٠,٠ ± ٢١

ولم تسجل علاقة بين تركيز الملوثات وأيام ذي الحجة، حيث كانت كميتها متفاوتة في أول أيام المشاعر، فكانت نسبة أول أكسيد الكربون عالية يوم ١٤١٥/١٢/٣هـ، ثم انخفضت يوم ١٤١٥/١٢/٤هـ و ١٤١٥/١٢/٥هـ، على التوالي، حيث بلغت ٧٢,٧٩ و ٤٥,٣ و ٢٢,٨٢ جزءاً بالمليون على التوالي. ثم ارتفعت يوم ١٢,١٠ إلى ١٤١٥/١٢/١٣هـ، بصورة تدريجية، حيث بلغت ٥٩,٦٤ و ٦٤,٠٣ و ٧٣,٢ جزءاً بالمليون على التوالي.

كذلك توافق غاز ثاني أكسيد الكبريت في نقصانه وزيادته مع أول أكسيد الكربون. أما غاز ثاني أكسيد النيتروجين، فكان متغيراً، فلقد تناقص يوم ١٢/٣ و ١٢/٤ و ١٤١٥/١٢/٥ هـ، حيث بلغ ٠,٤٦ و ٠,١١ جزءاً بالمليون وصفرأً على التوالي، ثم زاد يوم ١٤١٥/١٢/١٠ هـ، إلى يوم ١٤١٥/١٢/١٣ هـ، حيث تراوح تركيزه بين ٠,٨٤ إلى ٠,١٩ جزءاً بالمليون.

كما حافظ الأوكسيجين على نسبة طبيعة ثابتة وهي ٢١٪ طوال أيام القياس من ١٤١٥/١٢/٣ هـ، إلى ١٤١٥/١٢/١٣ هـ. (انظر الجدول رقم - ٤)

جدول رقم - ٤

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق الملك فهد للعشرة مواقع في

الفترة المسائية

الموقع	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
١٤١٥/١٢/٣ هـ	٧٢,٧٩ ± ١٥,١	١,٠٣ ± ٠,١٦	٠,٤٦ ± ٠,١١	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٤ هـ	٤٥,٣ ± ١٢,٧٩	٠,٨ ± ٠,٢٥	٠,١١ ± ٠,٠٧	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٥ هـ	٢٢,٨٢ ± ٤,٥٦	٠,٦٠ ± ٠,١٢	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١٠ هـ	٥٩,٦٤ ± ١٠,٩	٠,٤٥ ± ٠,١٣	٠,٠٨٤ ± ٠,٠٥	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١١ هـ	٦٤,٠٣ ± ١١,٦٨	٠,٤٨ ± ٠,١٣	٠,٠٠٧ ± ٠,٠٠٧	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١٣ هـ	٧٣,٢ ± ١٠,١	٠,٥٦ ± ٠,١٦	٠,١٩ ± ٠,٠٧	٢١ ± ٠,٠

٢- قياس تركيز الملوثات الهوائية بنفق أحياد السد للسيارات:

أ - تركيز الملوثات في فترة الظهيرة:

بلغ تركيز أول أكسيد الكربون في نفق أحياد السد للسيارات أعلى قيمة له عند المخرج باتجاه منى حيث بلغ تركيز أول أكسيد الكربون عند المدخل ووسط ومخرج النفق ١٤ ، ١٨,٧ و ٢٣,١٤ جزءاً بالمليون على التوالي.

وكان تركيز أول أكسيد الكربون في ساحة خارج النفق باتجاه منى أعلى من ساحة قبل المدخل (اتجاه الحرم). مما يدل على أن مراوح الشفط تعمل بكفاءة جيدة في اتجاه سير مركبات النقل حيث بلغ التركيز في ساحة المدخل وساحة المخرج ١٣,٦ و ٢٠,٤ جزءاً بالمليون على التوالي. وكانت القياسات متدرجة في الزيادة باتجاه سير المركبات، مما يشير إلى عدم تراكم الملوثات الهوائية داخل النفق.

ولقد حدث تراكم بسيط عند مخرج النفق قد يعود سببه إلى ارتفاع درجة حرارة الهواء في خارج النفق وقت الظهيرة، مما جعل تيارات الهواء تعاكس مراوح شفط وطرده الهواء من داخل النفق بكفاءة كاملة.

كما كان تركيز ثاني أكسيد الكبريت متساوي القيمة في نقاط القياس وبزيادة في ساحة المخرج، مما يشير إلى كفاءة مراوح الشفط في طرد غاز ثاني أكسيد الكبريت إلى خارج النفق باتجاه سير المركبات، بحيث حافظ التركيز على نسبة متوازنة ولم يحدث تراكم للغاز في وسط النفق.

أما غاز ثاني أكسيد النيتروجين فلم تسجل تراكيز محسوسة منه داخل نفق أجياد السد في جميع نقاط القياس داخل وخارج النفق على السواء. وحافظ تركيز الأوكسيجين على نسبة طبيعية ثابتة في هواء النفق وقدرها ٢١٪. (انظر الجدول رقم - ٥)

جدول رقم - ٥

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق أجياد السد للسيارات في فترة الظهيرة

من ١٤١٥/١٢/٢ هـ إلى ١٤١٥/١٢/١٣ هـ

الموقع	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
ساحة المدخل (قصر الصفا)	١٣,٦ ± ٣,٢	٠,٦٣ ± ٠,١٩	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
المدخل	١٤,٠١ ± ٢,٥٤	٠,٦٢ ± ٠,٢٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
الوسط	١٨,٧ ± ٣,٠١	٠,٦٢ ± ٠,٢٣	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
المخرج	٢٣,١٤ ± ٢,٤١	٠,٥٩ ± ٠,٢٣	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
ساحة المخرج (محس الجن)	٢٠,٤ ± ٥,٣١	٠,٧٤ ± ٠,٢٢	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠

لقد كانت نسبة تركيز الملوثات متغيرة في النصف الأول من شهر ذي الحجة حيث بلغت اعلى قيمه لها يوم ١٩/١١/١٤١٥ هـ و ١٣/١٢/١٤١٥ هـ، من تركيز أول أكسيد الكربون ٢٠,٥٨ و ٢٧,٣٦ جزءاً بالمليون على التوالي. وتناقص يوم ١/١٢/ ثم زاد يوم ٢/١٢ وتناقص ثانية يوم ٣/١٢ و ٤/١٢ حيث بلغ ١٤,٤٨ و ١٦,٩٦ و ١١ و ١٢,٨٨ على التوالي. وزاد يوم ٨/١٢ ثم تناقص يوم ١١/١٢ حيث بلغ ٢١,٧٦ و ١٦,٨ على التوالي.

أما غاز ثاني أكسيد الكبريت فلقد كان اعلى تركيز يوم ٣/١٢ و ١/١٢ حيث بلغ ١,٢٧ و ١,٣ جزءاً بالمليون على التوالي. ثم تناقص في يوم ٤/١٢ إلى ١,١٥ جزءاً بالمليون وبصوره مغايره لأول أكسيد الكربون فلقد كان تركيزه منخفضاً يوم ١٣/١٢ كما كان تركيزه غير محسوس يوم ١١/١٢ وقل تركيزه يوم ٨/١٢ عن معدل تركيزه في الأيام الأولى من شهر ذي الحجة حيث بلغ ٠,٣٤ جزءاً بالمليون، ولكنه كان أعلى من الأيام التالية من شهر ذي الحجة. وكذلك يوم ١٩/١١ أيضاً لم تسجل تراكيز محسوسة لغاز ثاني أكسيد النيتروجين لجميع أيام شهر ذي الحجة ويوم ١٩/١١. أما غاز الأوكسيجين فقد حافظ على نسبة طبيعية وقدرها ٢١٪ طوال أيام القياس. (انظر الجدول رقم - ٦)

جدول رقم - ٦

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق أجباد السد للسيارات

للخمسة مواقع في فترة الظهيرة

الموقع	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
١٩/١١/١٤١٥ هـ	٢٠,٥٨ ± ٥,١٥	٠,٠٤٤ ± ٠,٠٤	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١/١٢/١٤١٥ هـ	١٤,٤٨ ± ٣,٣٧	١,٢٧ ± ٠,٠٦	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
٢/١٢/١٤١٥ هـ	١٦,٩٦ ± ٦,٢٤	١,١١ ± ٠,١١	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
٣/١٢/١٤١٥ هـ	١١,٠ ± ٣,٩١	١,٣٠ ± ٠,٠٦	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
٤/١٢/١٤١٥ هـ	١٢,٨٨ ± ١,٥٨	١,١٥ ± ٠,٠٢	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
٨/١٢/١٤١٥ هـ	٢١,٧٦ ± ٣,٦	٠,٣٤ ± ٠,١٤	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١١/١٢/١٤١٥ هـ	١٦,٨ ± ٢,٥٣	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٣/١٢/١٤١٥ هـ	٢٧,٣٦ ± ٣,٣١	٠,٠١٤ ± ٠,٠١٤	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠

ب - تركيز الملوثات الهوائية في نفق أجياد والسد في الفترة المسائية:

بلغ أعلى تركيز لغاز أول أكسيد الكربون عند مخرج نفق أجياد السد، حيث بلغ ٢٧,٤٨ جزءاً بالمليون وزاد التركيز في وسط النفق عن تركيز المدخل، حيث بلغ ١٧,٨ و ٧,١٦ جزءاً بالمليون على التوالي.

وتشير القياسات إلى أن تركيز أول أكسيد الكربون في ساحه مدخل النفق (اتجاه الحرم) كان يزيد ضعفين على مدخل النفق، حيث بلغ ١٥,٢ جزءاً بالمليون. وكان تركيز أول أكسيد الكربون مقارباً في ساحه مخرج النفق في اتجاه منى. مما يشير إلى كفاءة شفط مراوح النفق، إلا أن اتجاه الرياح من اتجاه منى؛ حيث الهواء درجة حرارته أقل من داخل النفق قد يكون جعل تيار الهواء يعاكس كفاءة مراوح الشفط، ومنع بذلك خروج جزء من أول أكسيد الكربون، مما سبب تراكماً في مخرج ووسط النفق.

كذلك حافظ ثاني أكسيد الكبريت على نسبة متقاربة في نقاط القياس، حيث تراوحت كمية تركيزه من ٢٧٪ إلى ٣٥,٠ من المدخل إلى المخرج بصورة متزايدة وبشكل تدريجي. وكانت هذه الكمية متقاربة مع تركيزه ٣٢,٠ و ٣,٠ جزءاً بالمليون على التوالي.

وسُجل أعلى تركيز لغاز ثاني أكسيد النيتروجين داخل النفق في وسطه، حيث بلغ ١٤,٠ جزءاً بالمليون ولم يسجل تركيز محسوس له في ساحه المدخل أو المخرج على السواء. كما كان تركيز الأوكسيجين بنسبة طبيعية ثابتة في جميع نقاط القياس حيث بلغ ٢١٪. (انظر الجدول رقم - ٧)

جدول رقم ٧ -

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق أحياء السد للسيارات في

الفترة المسائية

من ١٤١٥/١٢/٢ الى ١٤١٥/١٢/١٣ هـ

الموقع	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
ساحة المدخل (قصر الصفا)	١٥,٢ ± ٥,٣	٠,٣٢ ± ٠,١٧	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
المدخل	٧,١٦ ± ١,٩٩	٠,٢٧ ± ٠,١٧	٠,٠٣ ± ٠,٠٣	٢١ ± ٠,٠
الوسط	١٧,٨ ± ٢,٠٣	٠,٣٠ ± ٠,١٨	٠,١٤ ± ٠,١٤	٢١ ± ٠,٠
المخرج	٢٧,٤٨ ± ٣,٠٥	٠,٣٥ ± ٠,٢١	٠,١٤ ± ٠,١٤	٢١ ± ٠,٠
ساحة المخرج (محس الجن)	١٦,٩٦ ± ١,١٥	٠,٣٠ ± ٠,١٨	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠

لقد كان تركيز أول أكسيد الكربون في أعلى قيمه له يوم ١٢/١٣ و ١٢/٤، حيث بلغ ٢٢,٦٤ و ٢٠,٤٤ جزءاً بالمليون على التوالي. وقل تركيزه يومي ١٢/٣ و ١٢/١٠، حيث بلغ ١٣,٦٤ و ١٢ جزءاً بالمليون. ثم زاد إلى ١٥,٨٨ جزءاً بالمليون يوم ١٢/١١. أما غاز ثاني أكسيد الكبريت فقد سُجل أعلى تركيز له يوم ١٢/٤ وأقل تركيز له يوم ١٢/٣. وانخفض يوم ١٢/١٣، حيث بلغ تركيزه ٠,٨١ و ٠,٦٩ و ٠,٠٤ جزءاً بالمليون على التوالي.

ولم يُسجل تركيز محسوس له يومي ١٠/ و ١٢/١١. كما كان تركيز غاز ثاني أكسيد النيتروجين ٠,١٩ جزءاً بالمليون يوم ١٢/٣، ولم تُسجل أية تركيزات محسوسة أيام شهر ذي الحجة.

كذلك حافظ الأوكسيجين على نسبة طبيعية ثابتة مساءً خلال جميع أيام القياس من شهر ذي الحجة حيث بلغ ٢١٪.

جدول رقم - ٨

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق أجباد السد للسيارات
للخمسة مواقع في الفترة المسائية

الموقع	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
١٤١٥/١٢/٣ هـ	١٣,٦٤ ± ٥,١	٠,٦٩ ± ٠,٠٤	٠,١٩ ± ٠,١٣	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/٤ هـ	٢٠,٤٤ ± ٤,٢٥	٠,٨١ ± ٠,٠٥	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١٠ هـ	١٢,٠ ± ٢,٧٦	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١١ هـ	١٥,٨٨ ± ٣,٥٣	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١٣ هـ	٢٢,٦٤ ± ٣,٨٦	٠,٠٤ ± ٠,٠٤	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠

قياس تراكيز الملوثات الهوائية بنفق أجباد السد (مشاة):

أ - فترة الظهيرة:

وجد أن تركيز أول أكسيد الكربون في داخل وساحة دخول نفق أجباد المشاة من اتجاه منى غير محسوس، بينما كان تركيز أول أكسيد الكربون في ساحة مخرج النفق من اتجاه قصر الصفا ١,٧ جزءاً بالمليون. أما تركيز غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين فكان غير محسوس. كما حافظ الأوكسيجين على نسبة طبيعية ثابتة في جميع نقاط القياس داخل وخارج النفق وهي ٢١٪. (انظر الجدول

رقم - ٩)

جدول رقم - ٩

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق أجباد السد للمشاة في فترة الظهيرة

من ١٤١٥/١٢/٢ الى ١٤١٥/١٢/١٣ هـ

الموقع	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
ساحة المدخل (قصر الصفا)	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
المدخل	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
الوسط	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
المخرج	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
ساحة المخرج (محس الجن)	١,٧ ± ١,٤١	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١

ب - فترة المساء:

وجد أن تركيز أول أكسيد الكربون أعلى في ساحة مخرج النفق باتجاه قصر الصفا عن داخل النفق في الوسط والمخرج، حيث بلغ تركيز أول أكسيد الكربون ٦، ٨، و ٠,٦ جزءاً بالمليون على التوالي.

بالمقابل كان تركيز غاز أول أكسيد الكربون في ساحة المدخل (اتجاه منى) والمدخل غير محسوس. كذلك كان تركيز ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين غير محسوس في جميع نقاط القياس داخل النقل وفي ساحتي نفق أجباد للمشاة. أما غاز الأوكسيجين فلقد حافظ على نسبة طبيعية ثابتة وقدرها ٢١٪. (انظر الجدول رقم - ١٠)

جدول رقم - ١٠

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق أجباد السد للمشاة في

الفترة المسائية

من ١٤١٥/١٢/٢ هـ الى ١٤١٥/١٢/١٣ هـ

الموقع	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
ساحة المدخل (قصر الصفا)	١,٠ ± ١,٠	١,٠ ± ١,٠	١,٠ ± ١,٠	٢١ ± ١,٠
المدخل	١,٠ ± ١,٠	١,٠ ± ١,٠	١,٠ ± ١,٠	٢١ ± ١,٠
الوسط	١,٨ ± ٢,٥	١,٠ ± ١,٠	١,٠ ± ١,٠	٢١ ± ١,٠
المخرج	١,٩ ± ١,٩	١,٠ ± ١,٠	١,٠ ± ١,٠	٢١ ± ١,٠
ساحة المخرج (محبس الجن)	١,٠ ± ١,٠	١,٠ ± ١,٠	١,٠ ± ١,٠	٢١ ± ١,٠

٤ - قياس تركيز الملوثات في نفق الملك خالد بالعزيرية:

أ - فترة الظهيرة:

وجد أن تركيز غازات أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين غير محسوس في نفق الملك خالد بالعزيرية، بينما كانت نسبة الأوكسيجين طبيعية ثابتة حيث بلغت ٢١٪. (انظر الجدول رقم - ١١)

جدول رقم - ١١

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق الملك خالد بالعزيزة
لفترة الظهيرة

الموقع	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
ساحة المدخل (قصر منى)	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
المدخل	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
الوسط	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
المخرج	١,٤ ± ٢,٩٩	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١
ساحة المخرج (منى)	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١

ب - فترة المساء:

وجد أن تركيز أول أكسيد الكربون خارج النفق وفي ساحة المخرج (اتجاه منى) وساحة المدخل حيث بلغ ١٣,٦ ، ١٠ و ٦,٦ جزءاً بالمليون على التوالي وهو أعلى من تركيز أول أكسيد الكربون في المدخل والوسط الذي وجد قيمة غير محسوسة. (انظر الجدول رقم - ١٢)

جدول رقم - ١٢

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في نفق الملك خالد بالعزيزة في الفترة المسائية

الموقع	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
ساحة المدخل (قصر منى)	٦,٦ ± ١٠,٣٧	٠,٤٢ ± ٠,٣٦	٠,٢١ ± ٠,٣٤	٢١ ± ٠,٠
المدخل	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٧ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠
الوسط	٠,٠ ± ٠,٠	٠,١٤ ± ٠,٣	٠,٥٩ ± ٠,٣٣	٢١ ± ٠,٠
المخرج	١٠,٠ ± ٠,٩٤	٠,٤٢ ± ٠,٣٦	٠,٢٨ ± ٠,٣٦	٢١ ± ٠,٠
ساحة المخرج (منى)	١٣,٩ ± ٦,٥٢	٠,٤٩ ± ٠,٣٤	٠,٠ ± ٠,٠	٢١ ± ٠,٠

٥ - قياس تركيز ملوثات الهواء يوم وقفة عرفة (١٤١٥/١٢/٩):

وجد أن تركيز أول أكسيد الكربون غير محسوس من زوال الشمس إلى الساعة ٥,١٧ دقيقة بعد الظهر، لكن قرب وقت نفرة الحجيج ومع بدء تشغيل محركات وسائل المواصلات استعداداً للإفاضة من غرفات، زاد تركيز أول أكسيد الكربون حيث بلغ الساعة السادسة والربع ٩,١٤ جزءاً بالمليون. ثم زاد بصورة محسوسة في الساعة السابعة فبلغ ٦٩,٨ جزءاً بالمليون وأستمر بصورته هذه إلى بدء الإفاضة الساعة ٧,١٥ مساءً وأظهر غاز ثاني أكسيد الكبريت نتائج مماثلة، حيث بلغ تركيزه الساعة ٦,١٥ قيمة قدرها ١,٤ جزءاً بالمليون. ثم انخفض إلى ٠,٤١ جزءاً بالمليون، وعاد للزيادة الساعة السابعة مساءً فبلغ ٠,٩٥ جزءاً بالمليون، وأستمر بقيمة تقريبيه لساعة الإفاضة حيث بلغ ١,٠٢ جزءاً بالمليون.

أما غاز ثاني أكسيد النيتروجين، فقد كان غير محسوس طوال فترة المشاعر بعرفات من ناحية أخرى، كانت نسبة الأوكسيجين طبيعية ثابتة طوال فترة المشاعر في عرفات، حيث حافظ على نسبة ثابتة وقدرها ٢١٪ وبزيادة طفيفة في ساعات المساء (٦,١٥ و ٦,٣٠ و ٧,١٥)، حيث تراوحت نسبته مع بدء النفرة (٢١,٥٪ - ٢١,٦٣٪). (انظر الجدول رقم - ١٣)

جدول رقم - ١٣

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في يوم عرفات

١٤١٥/١٢/٩ هـ

الزمن	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
٥,١٧	٢١,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠
٦,١٥	٢١,٥ ± ٠,٣٤	٠,٥ ± ٠,٣٤	١,٤ ± ٠,٧٩	٩,١٤ ± ١,٠٧
٦,٣٠	٢١,٦١ ± ٠,٢٥	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٤١ ± ٠,٤٧	٧,٩ ± ٣,٤٨
٧,٠٠	٢١,٠ ± ٠,٠	٠,٠٨ ± ٠,٢٥	٠,٤٥ ± ٠,٢٤	٦٩,٨ ± ١٥,١
٧,١٥	٢١,٦٣ ± ٠,٢٢	٠,٠ ± ٠,٠	١,٠٢ ± ٠,٢٤	٦٧,٦ ± ١٧,١٥

٦ - تراكيز ملوثات الهواء في مزدلفة:

بلغ تركيز أول أكسيد الكربون مع بدء وصول الحجاج إلى مزدلفة (الساعة ٨,٣٠ مساءً) ٥٨,٨ جزءاً بالمليون. كما بلغ غاز ثاني أكسيد الكبريت تركيز قدره ٩١٪ جزءاً بالمليون. أما غاز ثاني أكسيد النيتروجين فكان غير محسوس وحافظ غاز الأوكسيجين على نسبة طبيعية ثابتة حيث كانت نسبته ٢١٪.

جدول رقم - ١٤

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في مزدلفة يوم

١٤١٥/١٢/٩هـ

الزمن	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
٨,٣٠ pm	٠,٠ ± ٢١,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٢٣ ± ٠,٩١	٥٨,٨ ± ٥,٨٣

٧ - تراكيز الملوثات الهوائية في منى أيام التشريق:

تم قياس تركيز أول أكسيد الكربون يوم ١٤١٥/١٢/١٠هـ من فترة غياب الشمس إلى العاشرة مساءً فكان متوسط تركيز أول أكسيد كربون في جسر الملك عبد العزيز أمام معسكر الجامعة ٦,٤ جزءاً بالمليون. ثم انخفض يوم ١٤١٥/١٢/١١هـ فبلغ متوسط تركيز غاز أول أكسيد الكربون ٢,٩ جزءاً بالمليون، وازداد يوم ١٤١٥/١٢/١٢هـ، إلى ٨,١٦ جزءاً بالمليون (انظر الجدول رقم - ١٥).

جدول رقم - ١٥

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في جسر الملك عبدالعزيز

بمنى

التاريخ	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
١٤١٥/١٢/١٠هـ	٠,٤ ± ٦,٤	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١,٠
١٤١٥/١٢/١١هـ	١,٠٦٨ ± ٢,٩	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١,٠
١٤١٥/١٢/١٢هـ	٣,٢٦ ± ٨,١٦	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٢١,٠

كذلك تم قياس تركيز أول أكسيد الكربون في وادي الجمرات فبلغ متوسط تركيزه في يومي ١٠ و ١١ من شهر ذي الحجة، ٦,٨ و ٦,٥ جزءاً بالمليون على التوالي، ثم إزداد إلى ١٠,٥٥ جزءاً بالمليون. أما غازي ثاني أكسيد الكبريت والنيتروجين فكانت نسبتهما غير محسوسة. وكان الأوكسيجين بنسبة طبيعية ثابتة في جميع أيام التشريق حيث بلغ ٢١٪. (انظر الجدول رقم - ١٦)

جدول رقم - ١٦

معدل تركيز ملوثات الهواء (جزء بالمليون) في وادي الجمرات بمنى

١٤١٥/١٢/٩ هـ

التاريخ	CO	SO ₂	NO ₂	O ₂
١٤١٥/١٢/١٠ هـ	٦,٨ ± ١,٠٣	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١,٠ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١١ هـ	٦,٥ ± ١,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١,٠ ± ٠,٠
١٤١٥/١٢/١٢ هـ	١١,٥٥ ± ٤,٣٩	٠,٠ ± ٠,٠	٠,٠ ± ٠,٠	٢١,٠ ± ٠,٠

المناقشة والتوصيات

تخدم الأنفاق في تسهيل حركة المشاة والسيارات والقطارات في المدن الكبرى مثل العواصم الأوربية ومدينة القاهرة في الشرق الأوسط (Islam, 1983)، مما يولد انسيابية مرور فاعلة.

وفي مكة المكرمة رغم رقعتها المحدودة، إلا أنها تتميز بطبيعة جيولوجية مميزة من أودية محاطة بجبال صخرية مختلفة الصلابة من نوع الكوارتز والبروكسين والديوريت (Saafio, 1980). (Dacwish et al, 1982) فُحُفرت الأنفاق خلال الجبال حول الحرم المكي لتسهيل وصول قاصدي البيت العتيق (Hanif, 1987)، حيث حُفرت أربعة أنفاق في المرحلة الأولى (Doyuran, 198 SA)، تلاها نفق تحت أرضي حديث وفريد من نوعه بمكة المكرمة (نفق الملك فهد). كما شُقت أنفاق ضمن الطريق الدائري الثاني (Doyuran, 1982B)، وكذلك تم إنشاء أنفاق في منى ومزدلفة لاستيعاب الحركة المرورية أثناء مشاعر الحج.

وتشير النتائج في الدراسة الحالية إلى أ، تركيز الملوثات الهوائية في نفق الملك فهد أعلى من نفق أجياد السد للسيارات. كما أن تركيز الملوثات الهوائية في هذين النفقين أعلى من بقية الأنفاق التي تضمنتها الدراسة وهي نفق أجياد السد للمشاة ونفق الملك خالد للسيارات، وأعلى من القياسات في المشاعر المقدسة عرفات ومزدلفة ومنى أثناء فترة مشاعر الحج.

كلاً النفقين (الملك فهد وأجياد السد للسيارات) في منطقة جغرافية متقاربة يفصل بينهما مسافة قدرها ٩٠٠ م تقريباً، لكن نفق الملك فهد يتميز بأنه تحت الأرض وتتم تهويته بتقنيتين هما مراوح ضخ هواء جانبية ومراوح شفط سقفية وتحده منطقة جبل الكعبة التي ترتفع أعلى مستوى الأرض عنه وتشكل حاجزاً جغرافياً لتهويته.

أما نفق أجياد السد للسيارات فهو نفق ارضي واطول من نفق الملك فهد ويتم تهويته بمراوح شفط سقفية فقط. كما أن أحد مخارجه يتميز بالاتصال بمنطقة ماوراء محبس الجن ومنى ذات التهويه الجيدة لاتساع المنطقة وخلوها النسبي من تكدس البنيان.

كما تشير النتائج إلى أن تركيز أول أو أكسيد الكربون يزيد عن المعدلات الطبيعية في نفق الملك فهد (المعدل المسموح به ٥٠ جزءاً بالمليون). ولقد سجل اختلاف طبوغرافي بين فترتي الظهيرة والمساء للقياس، حيث وجد أن الملوثات تنفذ باتجاه الحفائر في فترة الظهيرة بنسبة أعلى من اتجاه قصر الصفاه، وتراكم غازي أول أو أكسيد الكربون وثاني أو أكسيد الكبريت بصورة مميزة عند باب الملك فهد، وتبعه باب الملك عبد العزيز. كما تراكم أول أو أكسيد الكربون في طريق العودة، بحيث سجل تركيز غاز أول أو أكسيد الكربون بساحة قصر الصفاه ٣٤٪ من مخرج النفق فقط. وكان تركيز غازي أول أو أكسيد الكربون وثاني أو أكسيد الكبريت في أعلى قيمة عند باب الملك فهد، تليه نقطة مخرج طريق العودة.

ويلاحظ من نتائج القياس في هذه الدراسة أن كفاءة طرد الملوثات بطريق الذهاب أفضل من طريق العودة، بحيث كان تركيز الغاز بنقطة المخرج يزيد ١٦٪ عن طلعة الحفائر، بينما في طريق العودة فإن تركيز غاز أول أو أكسيد الكربون يزيد ٢٩٤٪ عن ساحة خارج النفق (نقطة قصر الصفاه). وبصورة مماثلة وجد تركيز غاز ثاني أو أكسيد الكبريت يتراكم في صورة مشابهة لغاز أول أو أكسيد الكربون في معظم النقاط إلا أن تركيز أقل من المعدل المسموح به في جميع نقاط القياس داخل وخارج نفق الملك فهد في فترة الظهيرة. كما كان تركيز غاز ثاني أو أكسيد النيتروجين غير محسوس في جميع نقاط القياس بفترة الظهيرة، يشير إلى مصادر انتشار منضبطة. كذلك حافظ الأوكسيجين على نسبة طبيعية في جميع نقاط القياس وهذا يشير إلى توفر

الأوكسيجين للتنفس الطبيعي. أما في فترة المساء فلقد تراكمت ملوثات الهواء عند مخرج نفق الملك فهد. وكانت أعلى من ساحات خارج النفق. لقد سجل المعدل الوسطي لجميع نقاط القياس بالفترة المسائية أعلى من فترة الظهيرة باستثناء نقطة طلعة الحفائر. وكان طريق العودة أعلى بتركيز الملوثات الهوائية وأقل كفاءة في تصريفها من طريق الذهاب. فلقد كان تراكم غاز أول أوكسيد الكربون في أعلى مستوى عند باب الملك عبد العزيز ومخرج النفق. ووصل تركيز أول أوكسيد الكربون عند مخرج النفق أربع مرات تقريباً تركيز نفس الغاز عند موقع قصر الصفا.

عموماً فإن تركيز أول أوكسيد الكربون داخل جميع نقاط نفق الملك فهد بطريق الذهاب والعودة أعلى من المستوى المسموح به، مما يشير إلى عدم كفاءة التهوية وطرده الملوثات الهوائية منه. وسجل غاز ثاني أوكسيد الكبريت حالة تراكم مشابهة تقريباً لغاز أول أوكسيد الكربون إلا أن تركيزه في جميع نقاط القياس أقل من الحد المسموح به. أما غاز ثاني أوكسيد النيتروجين فسجل قراءات أعلى نسبياً من فترة الظهيرة ولكنها في المستويات الدنيا وأقل من الحد المسموح به، وقد تفسر هذه الظاهرة بأنها نتيجة بطء سير المركبات داخل النفق وعدم الاحتراق الكامل لوقود السيارات. كما حافظ الأوكسيجين على مستوى طبيعي في جميع نقاط القياس، وهو مهم للتنفس الطبيعي للإنسان تتفق هذه النتائج مع دراسة موسم رمضان ١٤١٥ هـ (السواس، ١٤١٥ هـ). من حيث معدل القياسات والتراكم للملوثات الهوائية داخل النفق ورداءة التهوية به. وعموماً فإن نتائج القياس في فترة موسم الحج تشير إلى انخفاض تركيز الغازات عن موسم رمضان بشكل واضح في أغلب نقاط القياس من طريق الذهاب والعودة بنفق الملك فهد في فترة الظهيرة والمساء على السواء. وقد يفسر هذا بقلة عدد المركبات الخاصة المستخدمة في فترة الحج واقتصارها على المواصلات العامة ذات السعة الكبيرة لنقل الحجاج بينما يستخدم المواطنون سياراتهم الخاصة في فترة موسم رمضان. مما يعزز فكرة الحد من دخول السيارات الصغيرة في فترة الذروة إلى نفق

الملك فهد لتجنب انبعاث الملوثات الهوائية وتراكمها بالنفق كما تشير النتائج إلى أن انبعاث الملوثات الهوائية بنفق الملك فهد في فترة الظهيرة متغير من يوم لأخر في فترة الدراسة من ١٤١٥/١١/١٦ هـ إلى ١٤١٥/١٢/١٣ هـ، مما يشير إلى عدم وجود علاقة تصاعدية في أيام الذروة وارتباط تركيز الملوثات بعدد المركبات تبعاً لنشاط تنقل الحجاج ويؤيد هذا زيادة تركيز الملوثات بشكل واضح عن باقي أيام الدراسة في يوم النفرة ١٤١٥/١٢/١٣ هـ لغاز أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد النتروجين.

أما في الفترة المسائية فلم تظهر النتائج علاقة طردية بين تركيز الملوثات وأيام شهر ذي الحجة في الفترة من ١٤١٥/١٢/٣ هـ إلى ١٤١٥/١٢/٥ هـ إلا أنه بعد ذلك من ١٤١٥/١٢/١٠ هـ إلى ١٤١٥/١٢/١٣ هـ وجدت علاقة طردية في انبعاث الملوثات مع أيام شهر ذي الحجة ويفسر هذا بنشاط تنقل الحجاج بين الحرم ومنى أيام التشريق، حيث يفضل الحجاج التنقل في الفترة المسائية لتجنب ضربات الشمس في درجات الحرارة العالية من فترة الظهيرة.

وفي نفق أحياد السد للسيارات أظهرت النتائج كفاءة تهوية هذا النفق وعدم وجود تراكم للملوثات الهوائية داخله في فترة الظهيرة، فلقد زاد تركيز غاز أول أكسيد الكربون بصورة تدريجية من المدخل إلى المخرج في اتجاه سير المركبات واتجاه عمل أجهزة شفط الهواء الخاصة بتهوية النفق.

كما كان تركيز غاز أول أكسيد الكربون في ساحة محبس الجن أعلى من ساحة مدخل النفق (من اتجاه قصر الصفا)، مما يعزز كفاءة طرد الملوثات من النفق باتجاه محبس الجن، ووادي منى الذي يتصف بتهوية جيدة. وتجدد الإشارة إلى أن تركيز أول أكسيد الكربون في جميع نقاط القياس داخل وخارج نفق أحياد السد يقل عن المعدل المسموح به من غاز أول أكسيد الكربون.

وبصورة مماثلة تقريباً وجد غاز ثاني أكسيد الكبريت بتركيز مقداره ٠,٦ جزءاً بالمليون تقريباً وهذا أقل من المعدل المسموح به أيضاً كما كان غاز ثاني أكسيد النيتروجين غير محسوس بينما حافظ غاز الأوكسيجين على نسبة طبيعية، مما يساعد على التنفس الطبيعي للإنسان. كذلك لم تظهر النتائج وجود علاقة طردية بين تركيز غازي أول أكسيد الكربون وثاني أكسيد الكبريت مع أيام القياس في الحج، ولكنه وجد أن تركيز غاز أول أكسيد في أقصى معدلاته يوم النفرة، وهذا يفسر بزيادة عدد المركبات المتجهة للحرم المكي من منى، ويشير إلى تغير كثافة المركبات التي تعبر نفق أجياذ السد من يوم لآخر في موسم الحج. كما أن هذه الظاهرة تماثل ما سجل في نفق الملك فهد بنفس الفترة من القياس في وقت الظهيرة.

وفي فترة المساء وجدت زيادة بتركيز غاز أول أكسيد الكربون عند نقطة المخرج. كما أن ساحة المخرج أقل تركيزاً لغاز أول أكسيد الكربون من ساحة المدخل. مما يشير إلى ضعف كفاءة طرد الملوثات بالفترة المسائية، وهذا يتفق مع ما سجل في نفق الملك فهد بنفس فترة القياس، وقد يشير إلى اتجاه معاكس من الرياح لحركة طرد الملوثات من داخل نفقي أجياذ السد للسيارات ونفق الملك فهد.

كذلك لم تظهر النتائج علاقة طردية بين تركيز الملوثات الهوائية وأيام شهر ذي الحجة في بداية القياس، ولكن مالبث أن زاد تركيز غاز أول أكسيد الكربون بشكل تدريجي من يوم ١٠/١٢/١٤١٥ هـ وبلغ دروته في ١٣/١٢/١٤١٥ هـ وهذا يتفق مع زيادة الحركة المرورية للمركبات من منى للحرم وخاصة يوم النفرة حيث تكون كثافة السيارات في معدلها الأعظم.

لم تظهر نتائج القياس في فترة الظهيرة تركيزاً محسوساً للملوثات الهوائية في نفقي أجياذ السد (للمشاة) ونفق الملك خالد، حيث الأول لا تسلكه السيارات التي تعتبر المصدر الرئيسي لانطلاق الملوثات. حيث وجد هذا في نفق أجياذ السد للسيارات

الذي يقع موازياً له في نفس المنطقة. أما نتائج نفق الملك خالد، فلم تظهر نتيجة القياس تركيزاً محسوساً بسبب اقتصار فترة القياس على يوم ٣/١٢/١٤١٥ هـ حيث الحركة المرورية إلى منى محدودة مقصورة على الخدمات، مما يجعل عدد المركبات قليلاً. وزاد تركيز أول أكسيد الكربون في فترة المساء في كلا النفقين (أحياد السد للمشاة والمالك خالد). وكان تركيز أول أكسيد الكربون في نقطة وسط نفق أحياد السد للمشاة ٠,٨ جزءاً بالمليون وفي الساحة الخارجية اتجاه قصر الصفا ٦ جزءاً بالمليون، مما يُفسر بانتشار جزئي للملوثات الهوائية من الساحة (اتجاه منى) إلى داخل نفق المشاة في الفترة المسائية. ومصدر تلوث الساحة هو الطريق الصاعد والنازل لنفق أحياد السد للسيارات المجاور لها، ولكن هذا التركيز منخفض وفي المعدل المسموح به.

كما كان تركيز أول أكسيد الكربون في نفق الملك خالد بالفترة المسائية في ساحة دخول النفق (اتجاه العزيزية) أقل من مخرج وساحة مخرج النفق اتجاه منى، ولكن تركيزه في جميع نقاط القياس أقل من المعدل المسموح به، وتشير النتائج إلى كفاءة طرد الملوثات من نفق الملك خالد بالفترة المسائية في اتجاه منى لسير المركبات.

مما سبق يتبين أن تهوية الأنفاق الخاصة بالسيارات والمشاة بالشفط ذات فعالية أكبر من تهويتها بضخ الهواء العادي مع مراوح شفط قليلة الكفاءة، حيث درجة الحرارة للهواء المدفوع إلى النفق أعلى من هواء النفق المتواجد أساساً، وهذا قد يؤدي إلى تراكم الهواء القديم بالمستويات الدنيا ويصعد الهواء المندفَع إلى النفق إلى المستويات العليا ومنها إلى خارج النفق دون أن يتم تغير هواء النفق القديم وما يحمله من ملوثات، فيتعرض الإنسان لهذه الملوثات بشكل مميز.

وزاد تركيز غاز أول أكسيد الكربون بصورة تدريجية في عرفات قرب زمن نفرة الحجيج، وبلغ ذروته في الساعة السابعة مساءً حيث أغلب السيارات محركاتها تعمل ومستعدة للانطلاق اتجاه مزدلفة، مما يجعل انبعاث الملوثات يتم بتركيز عال نتيجة

لهذا وحين بدأت الحركة بانطلاق وسائل النقل اتجه مزدلفة، انخفض تركيز أول أكسيد الكربون قليلاً. وكان تركيز ثاني أكسيد الكبريت بصورة مماثلة لتركيز غاز أول أكسيد الكربون. ولم يسجل تركيز محسوس لغاز ثاني أكسيد النيتروجين. وفي جميع الأحوال فإن تركيز الغازات في عرفات كان في المعدل المسموح به باستثناء غاز أول أكسيد الكربون الذي زاد عن هذا المعدل نتيجة عمل محركات السيارات وهي ساكنة قبل زمن النفرة، مما أثار انطلاق تركيز كبير من هذا الغاز بسبب عدم الاحتراق الكامل لزيت وقود هذه السيارات.

وفي مزدلفة وعند وصول نفرة الحجيج ارتفع تركيز أول أكسيد الكربون إلى معدل يزيد عن المستوى المسموح به بنسبة قدرها ١٨٪. كما ارتفع تركيز ثاني أكسيد الكبريت أيضاً ولكنه حافظ على نسبة أقل من المعدل المسموح به، ويفسر هذا ببطء حركة السير وعمل محركات الحافلات أثناء توقفها في مزدلفة إضافة إلى كثافة الحركة المرورية ليوم النفرة.

كذلك سجلت النتائج ارتفاع تركيز الملوثات الهوائية في نفق جسر الملك عبد العزيز ووادي الجمرات يوم العيد ويوم النفرة من منى عن اليوم الأول للتشريق، وهذا يفسر بزيادة عدد المركبات القادمة والمنطقة من منى على التوالي.

ولقد كان تأثير أول أكسيد الكربون يزيد قليلاً في وادي الجمرات عن جسر الملك عبد العزيز يوم نفرة منى، وهذا أمر متوقع حيث تهوية الوادي أقل من الجبل، مما يسمح بتراكم الملوثات الهوائية. وفي جميع الأحوال فإن تركيز أول أكسيد الكربون أقل من المعدل المسموح به، مما يفسر بانسياب الحركة المرورية لحج عام ١٤١٥ هـ، كما كان تركيز غازي ثاني أكسيد الكبريت وثاني أكسيد النيتروجين غير محسوس وحافظ غاز الأوكسيجين على نسبة طبيعية للتنفس العادي للإنسان.

وهذه القيم المسجلة بوادي بمنى لغاز ثاني أكسيد الكربون أقل من النتائج المسجلة عام ١٩٨٢م، حيث وجد تركيز ثاني أكسيد الكبريت والأمونيا والغبار العالق ثلاث أضعاف الحد المسموح به (Nasralla 1986A). أما في الدراسة الحالية فلقد وجد أن ثاني أكسيد الكبريت أقل من الحد المسموح به، بينما معدل الغبار أعلى من الحد المسموح به.

كما كان تركيز أول أكسيد الكربون بهذه الدراسة أقل من الحد المسموح به بوادي منى وأقل مما سجل في عام ١٩٨٢م، حيث سجل تركيز غاز أول أكسيد الكربون في أوقات الذروة أعلى من ٥٠ جزءاً بالمليون (Nasralla 1986 B). وهذه تتفق مع ما سجل في حج ١٣٩٩هـ حيث وجد تركيز أول أكسيد الكربون أقل من المعدل الطبيعي المسموح به (Sabbak et al, 1980). مما يشير إلى أن سهولة انسياب الحركة المرورية أدى إلى خفض تركيز الملوثات الهوائية رغم زيادة أعداد الحجيج في الحاضر عن الماضي.

وهكذا يبين لنا أن تركيز الملوثات أعلى في نفق الملك فهد وتزداد ببطء الحركة المرورية بالمشاعر ونتيجة عمل محركات السيارات أثناء توقفها.

وكان معدل الأتربة العالقة يزيد عن المستوى المسموح به في جميع نقاط القياس بمكة والمشاعر المقدسة وبشكل خاص في نقطة مجزرة وادي محسر وأمام منطقة مسجد الجن، وتظهر هذه الدراسة زيادة معدل الأتربة العالقة في وادي منى عن ما سجل في حج ١٩٨٢م، حيث كان ثلاثة أضعاف الحد المسموح به (Naslalla & Younu, 1982) بينما كان في أقصى تركيز له بوادي محسر في هذه الدراسة حيث بلغ عشرة أضعاف الحد المسموح به تقريباً. مما يُفسر بزيادة الحركة المرورية في هاتين النقطتين وبقية نقاط قياس تركيز الأتربة العالقة وهذه تؤدي إلى الإصابة بالتهابات الجهاز التنفسي للإنسان.

أهم الاستنتاجات:

١ - توقف التهوية يؤدي إلى تراكم الغازات وخاصة أول أكسيد الكربون بداخل الأنفاق، حيث وجد أن أعلى تركيز داخل النفق. أما النتائج التي سجلت في شهر رمضان فسجل أعلى تركيز في نقطة القياس عند المخارج.

٢ - معدل الملوثات بنفق الملك فهد (السوق الصغير) أعلى من أي نفق آخر ولا يعزى هذا إلى الكثافة المرورية حيث تم مقارنته بنفق أجياد السد، حيث كثافته المرورية مماثلة لهما تقريباً. ويمكن تفسير هذه الظاهرة بالموقع الجغرافي أي النشأة تحت سطح الأرض الذي يجعله أقل تهوية من الأنفاق العلوية.

٣ - زيادة معدل غاز ثاني أكسيد الكبريت في موسم الحج عن شهر رمضان يشير إلى أن معظم المركبات تستخدم وقود الديزل الذي يحتوي على نسبة من الكبريت.

التوصيات:

١ - إنشاء شبكة رصد داخل الأنفاق بكواشف ثابتة مجهزة بوسائل إنذار لتحديد مستوى الغازات بالأنفاق، وتحليل النتائج علمياً وتحديد زمن ومكان تراكم الملوثات ووضع الحلول الهندسية لها.

٢ - المضي قدماً في دراسة أنسب أنواع الحوافز والتي يمكن تطبيقها في موسم الحج والعمره لتقليل عوادم السيارات، بما فيها الضوابط الفنية وتسهيلات التنقل ووسائل النقل البديلة الأقل تلويثاً للبيئة.

٣ - المضي قدماً في تنفيذ خطة إنتاج بنزين خال من الرصاص طبقاً للأمر السامي الكريم رقم س/٢٨٨٧٨ وتاريخ ١٤٠٩/٢/٢٨ هـ القاضي بالمضي قدماً في تنفيذ خطة إنتاج بنزين خال من الرصاص خلال خمس سنوات اعتباراً من تاريخ صدور الأمر السامي.

- ٤ - دراسة وجود وسائل انتقال غير المركبات بحيث يأخذ في الاعتبار أن موسم الحج في الأعوام القادمة سوف يأتي في أجواء معتدلة وباردة مما يزيد من عوامل تراكم الملوثات وتأثيراتها على الحالة الصحية.
- ٥ - دراسة امكانية استخدام وقود الغازولين المشبع بالأوكسيجين رباعي ميثيل الاثير للتغلب على انبعاث غاز أول أوكسيد الكربون (Gharain, 1992) .
- ٦ - استخدام مرشحات هواء الأنفاق لتنقية الهواء من الملوثات المتراكمة من السيارات وذات الخواص والكفاءة الفعالة (Favag et al, 1986).
- ٧ - استخدام هواء مبرد في تهوية نفق الملك فهد بدلاً من الهواء العادي كي يسمح بخروج الوقود الملوث من النفق بسهولة ويسر كما أظهرت الأبحاث كفاءة التهوية بهذه الطريقة (Shobokshy et al, 1980).
- ٨ - دراسة ملائمة كفاءة مرواح تهوية نفق الملك فهد طبقاً للمواصفات المطلوبة وزيادة كفاءتها بما يسمح بمنع تراكمها.

REFERENCES

Bradstreet, J. Mahoney, J.; Sacco, A.; Al-Gain, A.; Tasan, A. and Nowailaty, M. 1978. Preliminary air pollution assessments of the air pollution potential in Saudi Arabia.

Presented at 71st Annual meeting of the air pollution control association, Houston, TX, June 25-30, 1978, 1 - 16.

Darwish , Mohamoud Ali; Hanif, Muhammad

Title: Characteristics of rocks and their excavation in Makkah tunnel.

Publication: Proceeding of rock engineering and excavation in an urban Environment, Hong Kong , 27th Feb 1986 , Institute of mining and metallurgy, London , UK 1986, 145-154.

Dhowalia, K.H. Al- and Koushki, P.A. 1987.

Exposure to Carbon monoxide of vehicle occupants in the center of Riyadh, Saudi Arabia.

Tech. report Research center, College of Engineering , King Saud university, Riyadh - Saudi Arabia, 1-136.

Doyuran, V. 1982A.

Title: Makkah inner ring road project: Engineering geologic site investigation

Publication: Proceeding of 4th Congress association of Engineering Geology , New Delhi , India , 4, 127-138.

Doyuran , V; Urgurlu, A. and Haurut, A..1982B

Title: The Makkah inner ring project: Geotechnical investigation of tunnel MIT-2

Publication: Bulletin of the Geological society of Turkey (Tuerkiye Jeoloji Kurumu Buelteni), 25 (1), 73-80.

ERT International, 1977

Environmental standards for Saudi Arabia : draft for discussion.

ERT INT. , Inc, Massachusetts, USA , 1-27.

Farag, A. O.; Abdulaleem, F.A.; Nikheli, A.H. 1986.

Air pollution control by active foam.

Tech. report, College of Engineering - King Saud University, Riyadh - Saudi Arabia., 1-52.

Gharani, A.A. 1992.

How new environment rules can hit oil demand: The case of oxygenated gasoline.

Organization of the Petroleum Exporting Countries, 9, 14-16.

Hanif, M. 1987

Title: Scale model of underground opening in jointed rocks

Publication: Scientific publishing centre , King Abdul Aziz university - Jeddah , SA , 1-39.

Koushki, P.A.; Dhowalia, K.H. and Rowe, D.R. 1987.

Measurment of urban traffic Carbon monoxide and calibeartion of predictive models for Riyadh, Kingdom of Saudi Arabia.

Research center, College of Engineering , King Saud university , Riyadh , Saudi Arabia. 1- 182.

Luke, W.T. ; Kon, G. L.; Schillawski, R.D. and Zimmarman, P.R. 1992.

Trace gas measurements in the Kuwait oil fire smoke plane,

J. Geophysical Research , 97, 499-14.

Manavalan, V. 1983.

Title: Lighting and Ventilation

Publication: Tunnels and Tunneling , 15, (8), 1-81

Mutaz, I.S. Al-, 1988

Major sources of air pollution in Riyadh, Saudi Arabia

Proceeding of eight first annual meeting of the air pollution control association , USA, 1988 , 1 - 8.

Nasralla, M. M. 1983

Air pollution in the semitropical Saudi urban area.

Environmetal Int. 9, 255-264.

Nasralla, M. M. 1986.

Carbon monoxide and photochemical oxidants in Mina valley during pilgrimage.

Arab Gulf J. Scientific Research, 4, 193-201.

Nasralla, M.M. and Younes, A. 1986

Air quality in Muna valley some finding during pilgrimage 1402H (1982).

Arab Gulf J. of Scientific Research, 4, 551-560.

Rowe, D.R.; Dhowalia, K.H. and Mansour, M.E. 1988

Indoor-outdoor air quality in Riyadh..

Research report - Research center, College of Egeineering , King Saud university, 1-229.

Sabbak, O.A.; Shahawi, M. A. El- and Abdul Salam 1980

Air quality within Mina valley during the Hajj season of 1399H (1979)

Bulltetin Faculty of science, King Abdul Aziz University, 4, 159 - 170.

Sabbak, O.A. 1990

Distribution of Carbon monoxide in Jeddah atmosphere.
Environmental International, 16, 267 - 272.

Sabbak, O.A., 1993

Distribution of Sulfur dioxide in the atmosphere of Jeddah - Saudi Arabia
J. Air and waste management association, 43, 208 - 212.

Senany, A. 1981

Effect of the clean air act on Santa Clara county California
California State university, Freno, USA 1-164,

Sheikh, K.II. 1992

Oil well fires in Kuwait in 1991: Their impact on environment and people,
especially children in Kuwait and the Gulf region.
Tech. report of Islamic Educational Scientific and Cultural Organization,
Rabat, Morocco, 1-52,

Shobokshy, M.S, El-. Nasser, A. and Medany, H.

Title: Experimental investigation on the effect of internal air cooling on the
surface heat transfer of turbine blade

Publication: National Heat and Mass Transf. Confer., Hyderabad,
India, 1980, 9-16